

ЛЕКЦІЯ 1. Часть 1. ЗАДАЧІ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОЇ АКУСТИКИ. ФІЗИЧНА ТА ФІЗІОЛОГІЧНА АКУСТИКА

Задачі архітектурно-будівельної акустики.

Архітектурно-будівельна акустика – розділ будівельної фізики, що вивчає комплекс питань, пов'язаних з розповсюдженням звуку у архітектурному середовищі та огорожувальних конструкціях з метою утворення акустичного комфорту для життєдіяльності людини.

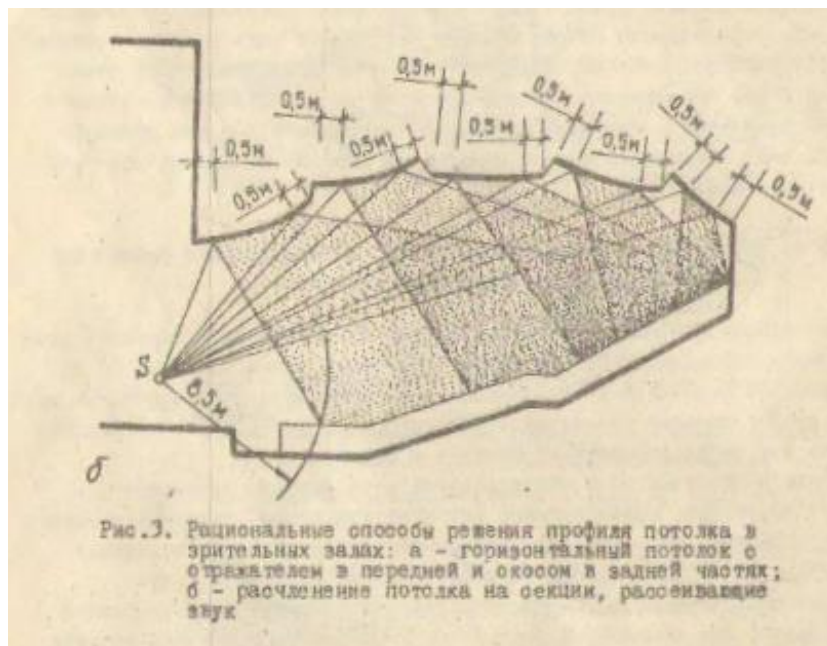
Архітектурно-будівельна акустика спирається на фізичну та фізіологічну акустику.

Фізична акустика вивчає процес розповсюдження звуку у різних середовищах.

Фізіологічна акустика – наука о сприйнятті звуку живою істотою (у нашому випадку – людиною).

В свою чергу архітектурно-будівельну акустику можна умовно розділити на 3 великих розділи:

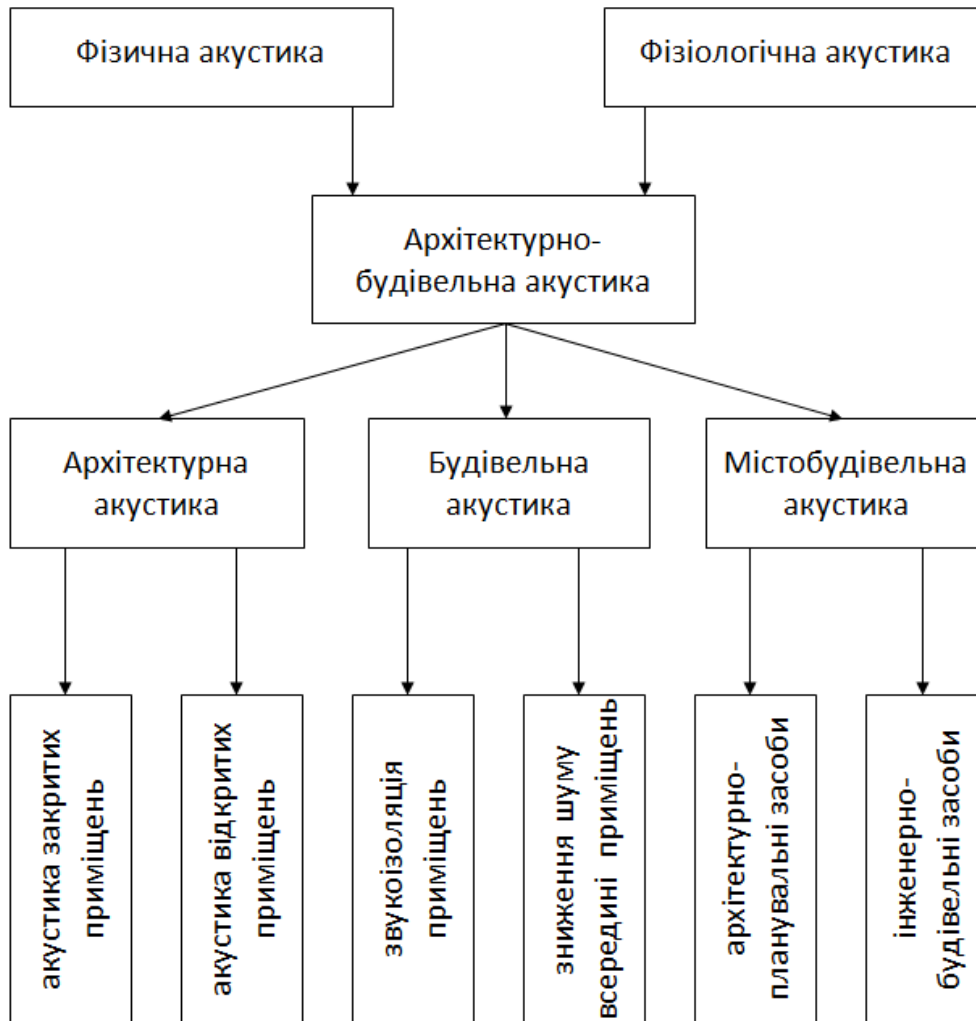
- *архітектурна акустика* (акустика закритих та відкритих приміщень) – розв'язує задачі забезпечення акустичного комфорту приміщень об'ємно-планувальними засобами та опорядженням інтер'єру без врахування впливу зовнішнього шуму. При великих об'ємах залу використовуються системи електропосилення звуку.



Будівельна акустика – розв’язує задачі, пов’язані з звукоізоляцією приміщень від зовнішнього промислового та експлуатаційного шуму та зниження шуму усередині промислових приміщень інженерними та будівельними засобами.

Містобудівна акустика – боротьба з шумом у містах та поселеннях архітектурно-планувальними та будівельно-акустичними засобами (але не адміністративними!)

Таким чином можна уявити наступну схему:



Література:

1. Архитектурная физика: учеб. для вузов : спец. "Архитектура" / [В. К. Лицкевич, Л. И. Макриненко, И. В. Мигалина и др.] ; под ред. Н.В. Оболенского. — М. : Стройиздат, 1988. — 448 с.
2. Руководство по проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости /НИИСФ. — М. Стройиздат, 1981. — 47 с.
3. Сергейчук О.В. Строительная физика. Акустика : учеб. пособие для студ. стр. спец. / О. В. Сергейчук. — К.: УМК ВО, 1992. — 120 с.

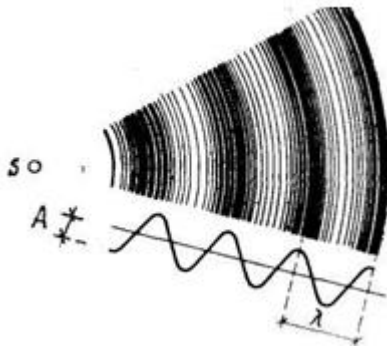
4. Климухин А.А., Проектирование акустики зрительных залов : Учеб.-метод. Указания к курсовой работе / А. А. Климухин, Е. Г. Кисилева. – М. : МАРХИ, 2012. – 57 с.

5. Комплекс нормативних документів з захисту територій, будинків і споруд від шуму

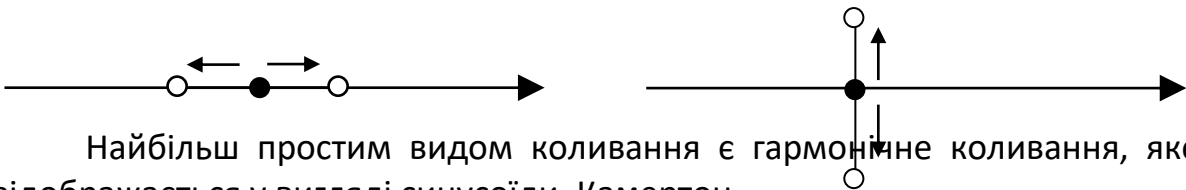
Звук. Основні визначення, величини та одиниці

В основі всієї науки «архітектурно-будівельна фізика» лежить поняття «звук». Звук ми намагаємося посилити, коли він корисний, та знищити, коли він шкідливий.

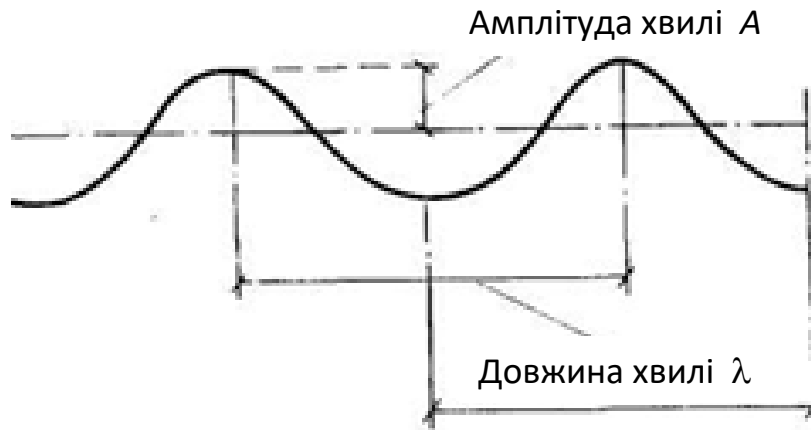
Звук – це коливальний рух у будь-якому матеріальному середовищі (тобто середовищі, що має пружність та інерційність), яке викликано певним джерелом звуку. Процес розповсюдження звуку в середовищі триває у вигляді звукових хвиль.



Розрізняють *повздовжні* та *поперечні* звукові хвилі. У газі (в тому числі у повітрі) та рідинах зміщення частинок середовища триває у напрямку розповсюдження хвилі. Це повздовжні звукові хвилі (можна порівняти з коливанням пружини, що закріплена з одного боку). У твердих тілах виникають поперечні звукові хвилі (аналог – хвилі на поверхні води від кинутого каміння)



Найбільш простим видом коливання є гармонічне коливання, яке відображається у вигляді синусоїди. Камертон.



Амплітуда хвилі А – максимальне зміщення частинок від стану спокою. Амплітуда хвилі пов'язана із гучністю звуку.

Довжина звуку λ – відстань між сусідніми частинками середовища, які мають однакові за величиною та напрямом відхилення від стану спокою. Такі частинки знаходяться в однаковій фазі коливання. Довжина хвилі пов'язана з тембром звуку (високий, низький и т.д. звук). Одиниця виміру – м.

Період коливання Т – тривалість часу, за який звук проходить відстань, що дорівнює довжині хвилі. Одиниця виміру – с.

Частота звуку f – кількість повних циклів коливань частинок середовища за 1 с. у Гц. $1\text{Гц}=\text{с}^{-1}$.

Швидкість звуку с – характеризує швидкість розповсюдження звукових хвиль у середовищі. Одиниця виміру – м/с.

Основні співвідношення між названими величинами:

$$c = \sqrt{1,41 \frac{p}{\rho}} = 20\sqrt{T}$$

де p – атмосферний тиск, Па;

ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;

T – абсолютна температура повітря, К ($0\text{К} = -273,15^\circ\text{C}$). (Можливе визначення температури за допомогою годинника).

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f; \quad f = \frac{1}{T}$$

З частотою звуку пов'язано дуже важливе явище – звукового резонансу.

Звуковий резонанс – здатність звуку певної частоти викликати помітне коливання об'єкту, що знаходиться у звуковому полі. Це виникає

тоді, коли частота коливання звуку співпадає з власною частотою коливання об'єкту, або у ціле число разів менше її (наприклад, гойдалки можна розгойдувати, прикладаючи зусилля при кожному коливанні, а можна через певну кількість коливань).

Звукове поле – область середовища, в якому розповсюджується звукова хвиля. Звукове поле може бути вільним (коли відсутні відбиття хвиль) та дифузним (коли є багатократні відбиття). Фізичний стан звукового поля характеризується звуковим тиском p , інтенсивністю I , коливальною швидкістю v , густиною звукової енергії ε .

Звуковий тиск p – це різниця між миттєвим значенням тиску та середнім тиском середовища (атмосферним тиском) у даній точці звукового поля. Одиниця виміру – Па.

Інтенсивність звуку – це потужність звуку на одиницю площі в напрямі розповсюдження звукових хвиль. Одиниця виміру – Вт/м²:

ФІЗИЧНА АКУСТИКА

Основними фізичними явищами звуку, як хвильових коливань є інтерференція, дифракція та рефракція звуку.

Інтерференція

Явище посилення чи послаблення коливань у хвильовому процесі називається інтерференцією. Воно виникає при наступних умовах:

- при співвідношенні частот двох джерел рівному 1:1, 1:2, 2:3 ... і т.д.
- при постійності здвигу фаз.

Такі джерела називаються когерентними.

Явище інтерференції використовується для боротьби з шумами (розповіді приклад).

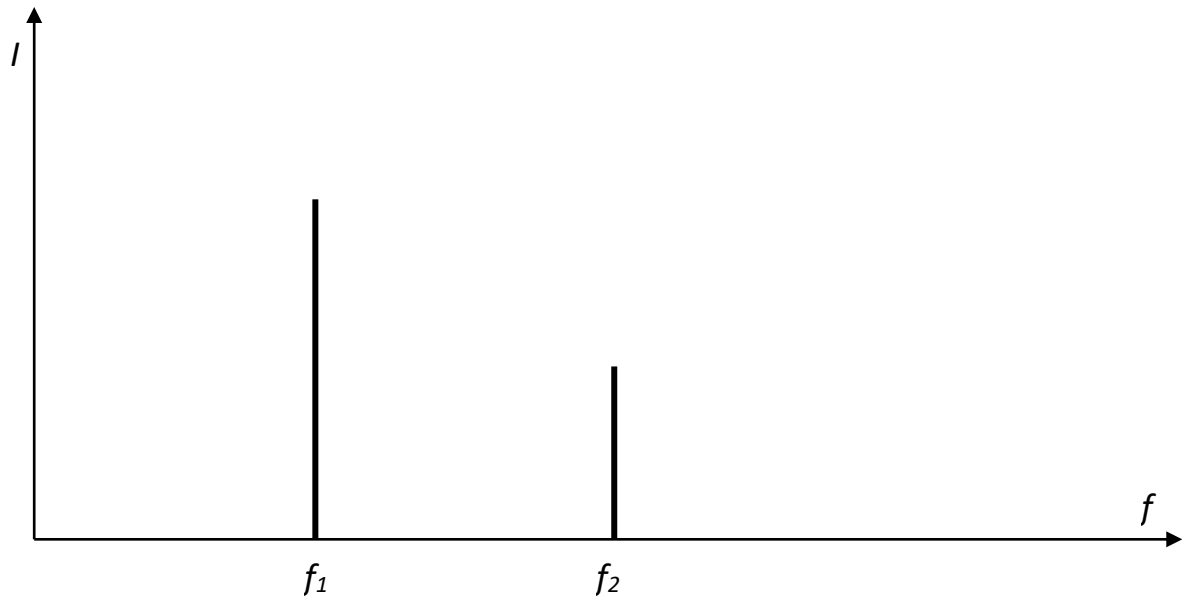
Введемо поняття спектру звуку. Спектром звуку є графік у системі координат: вісь абсцис – частота f , вісь ординат – амплітуда коливань A чи інтенсивність звуку I .

Будь яке періодичне коливання з періодом T може бути представлено як скінчена сума ряду гармонік:

$$AT = aT + a_1T_1 + a_2T_2 + \dots + a_nT_n .$$

Деякі з a_i можуть дорівнювати 0.

Спектром періодичного звуку буде наступний графік

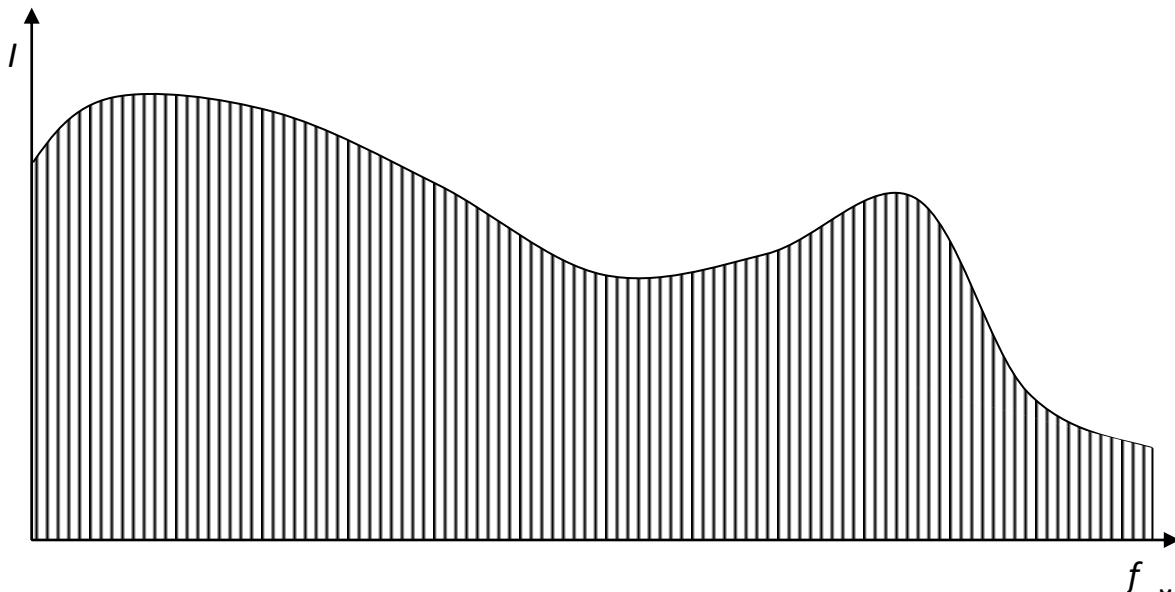


Від співвідношення гармонік залежить тембр звуку.

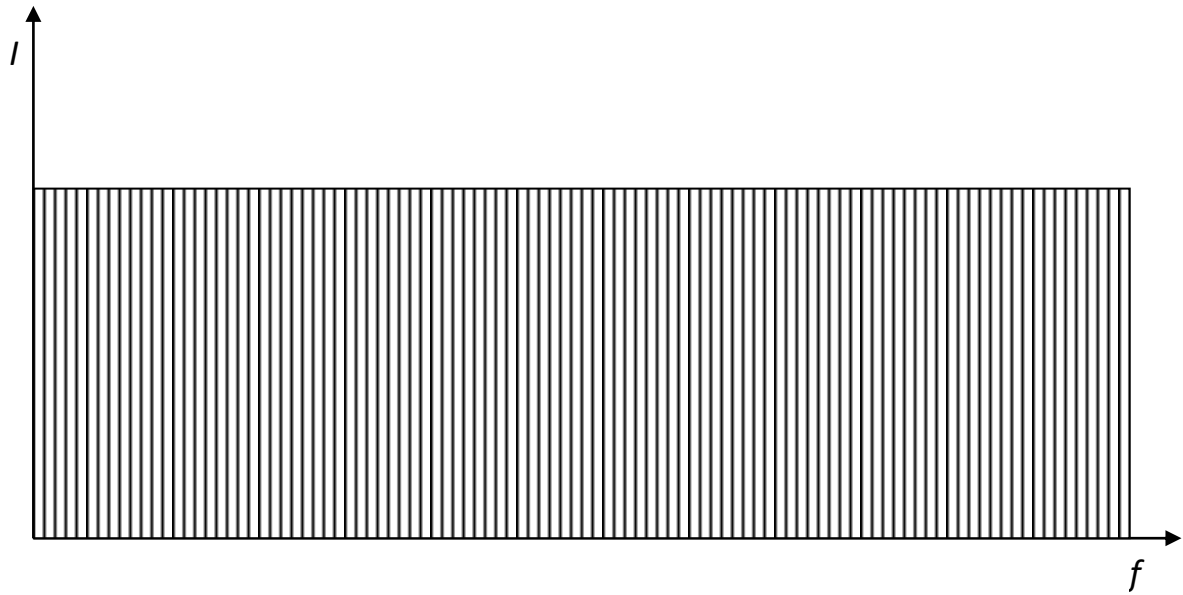
Неперіодичне коливання може бути представлено як нескінченна сума гармонік:

$$A_T = a_T + a_1T_1 + a_1T_1 + \dots$$

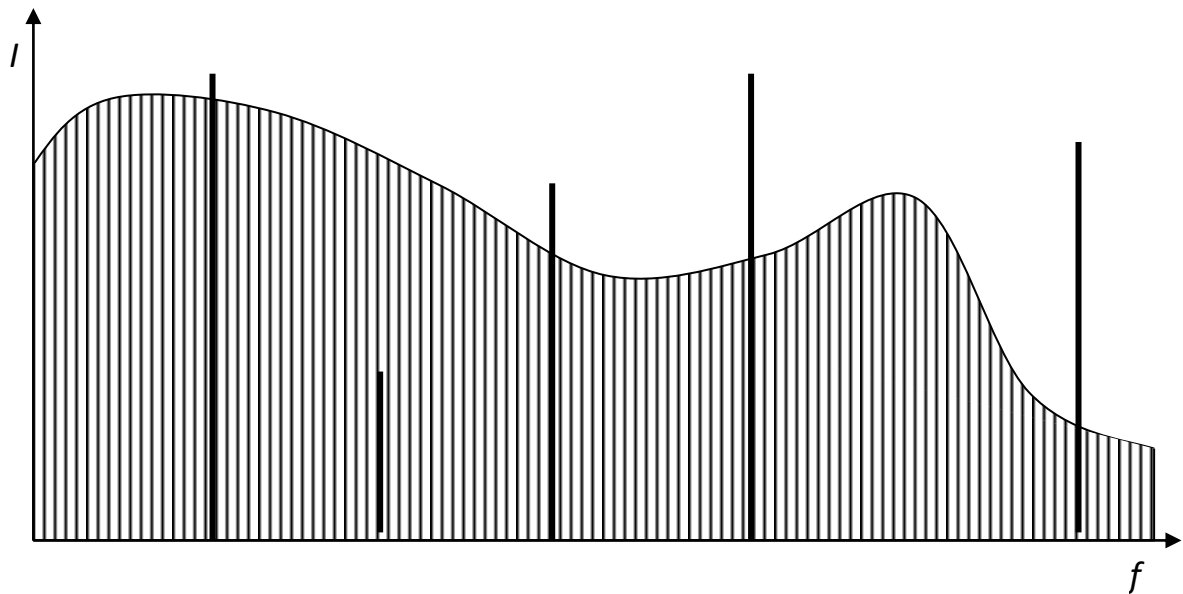
Його спектр буде суцільним



Дуже важливим у будівельній акустиці є так званий білий шум. Його сектор наступний:

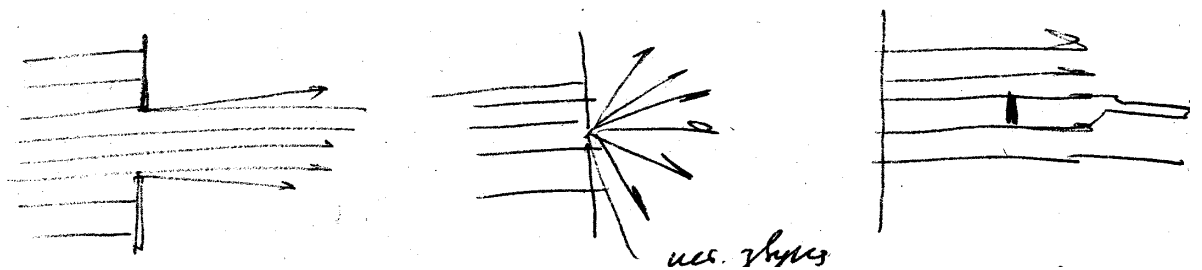


Технічні та побутові шуми, як правило мають змішаний спектр шуму:



Дифракція звукових хвиль

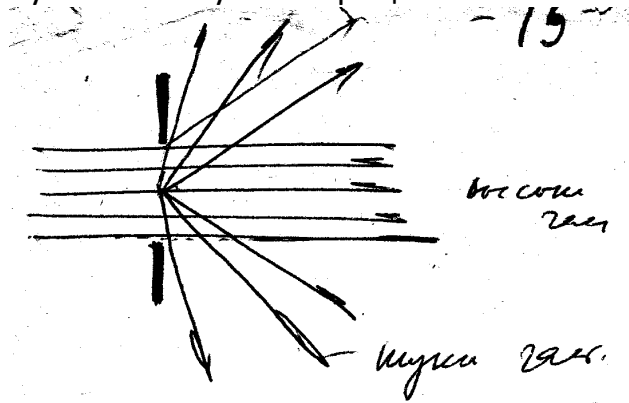
Дифракцією звуку називається явище відхилення звукового променя від свого прямолінійного напрямку при проходженні через маленький отвір чи при зустрічі з малим екраном.



Отвір чи екран вважається маленьким, якщо вони дорівнюють чи менші за довжину хвилі звуку.

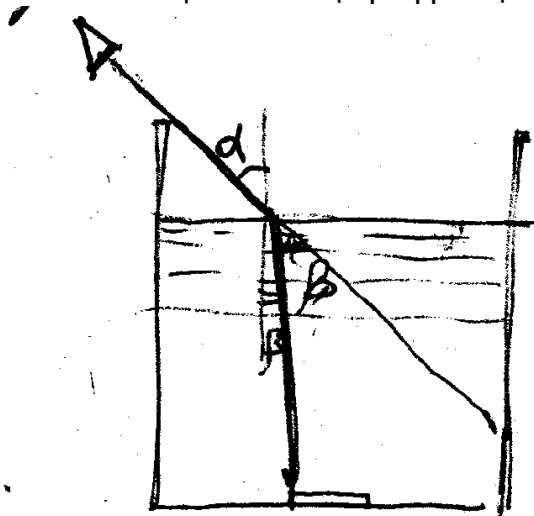
Отже чим більше частота звуку, тим меншим повинен бути отвір щоб його можна було б вважати як точкове джерело звуку.

Якщо грає оркестр, що складається з різних інструментів, то можна уявити наступний процес:



Рефракція звуку

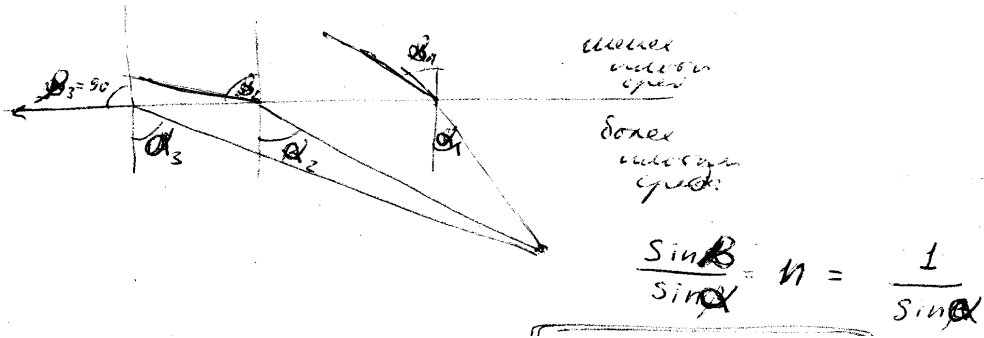
Якщо промінь надходить з менш густого середовища у більш густе, він заломлюється. Це і є явище рефракції.



Показник заломлення $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$. α – кут падіння; β – кут заломлення.

Важливо, що і відношення швидкостей теж дорівнює n .

Якщо промінь потрапляє з більш густого середовища у менш густе, то може наступити момент повного відбиття:



Умовою повного відбиття є

$$\alpha \geq \arcsin \frac{1}{n}$$

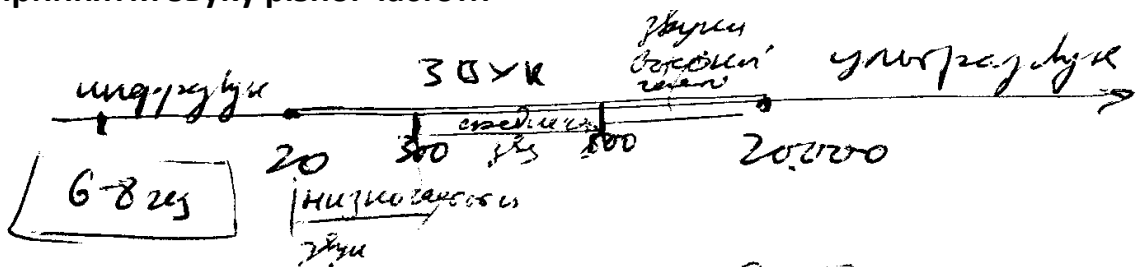
В архітектурній практиці явище рефракції виникає у приміщеннях внаслідок нерівномірного нагрівання повітря, коли виникають маси повітря різної густини. Явище повного відбиття при поганій вентиляції.

Якщо ми знаємо температуру мас повітря, то показник заломлення можна визначити за формулою

$$n = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

ФІЗІОЛОГІЧНА АКУСТИКА

Сприйняття звуку різної частоти



Звернути увагу на інфразвук частотою 6-8 Гц.

Сприйняття звуку за інтенсивністю

Нульовий поріг: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м². Больовий поріг: $I_6 = 10^2$ Вт/м²

Сприйняття звуку за звуковим тиском

Нульовий поріг: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Больовий поріг: $p_6 = 2 \cdot 10^2$ Па

Сприйняття звуку за рівнем інтенсивності

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

Нульовий поріг: $L_0 = 0$ дБ.

звукового тиску

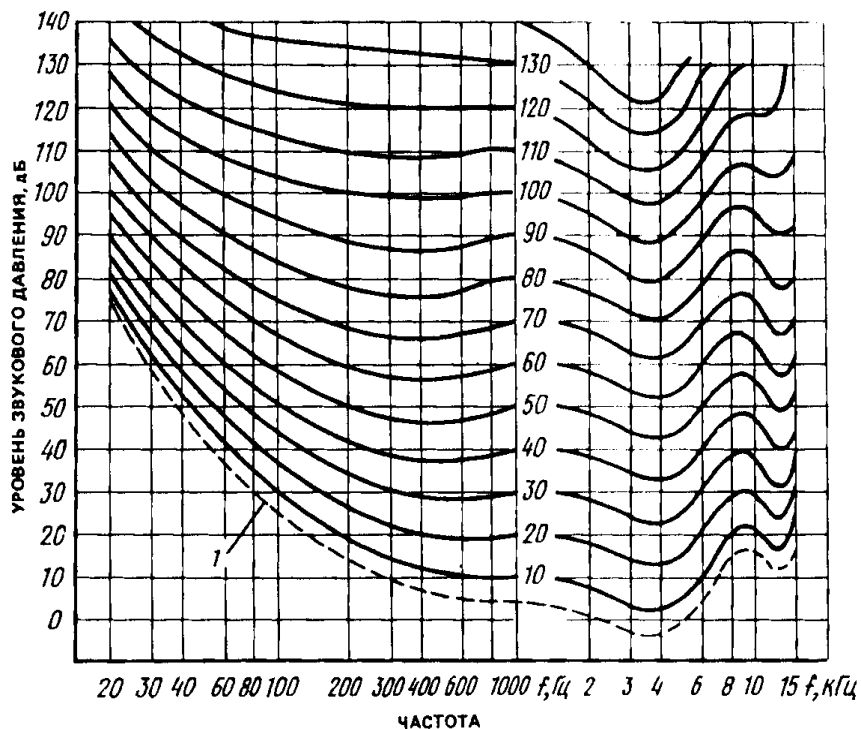
$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

Больовий поріг: $L_6 = 140$ дБ.

Різниця у рівнях інтенсивності у 1 дБ – найменша різниця, яку сприймає людина.

Сприйняття звуку за рівнем гучності.

Криві рівної гучності (у фонах):



Дитячий голос:
1000-2000 Гц

Жіночий голос:
Сопрано: 400-1000 Гц

Чоловічий голос:
Бас - 82 Гц; тенор - 20 Гц

Нульовий поріг: $L_{A0} = 0$ фон.

Больовий поріг: $L_{A6} = 140$ фон.

Табл. 1. Оцінка оцінки шумів різного рівня гучності

Суб'єктивна оцінка	Джерело шуму	Рівень гучності, фон
Тихо	Поріг чутності [повна тиша]	0-10
	Шелест листви, шум слабого вітру	10-20
	Шепіт на відстані 1 м	30-40
	Тиха розмова, негучна музика	40-50
Шумно	Нормальна розмова	50-60
	Гучна розмова на відстані кількох метрів	60-70
Вельми шумно	Гучна музика з гучномовців	70-80
	Симфонічний оркестр	80-90
	Виробничі шуми	90-100
Обтяжливо, дискомфортно	Шум вантажного автомобіля на відстані 7 м при швидкості 50 км/год.	90-110
	Шум відбійного молотка	110-120
Хворобливо	Шум реактивного літака на відстані 3 м від сопла	130-140

Оцінка рівня гучності у дБА

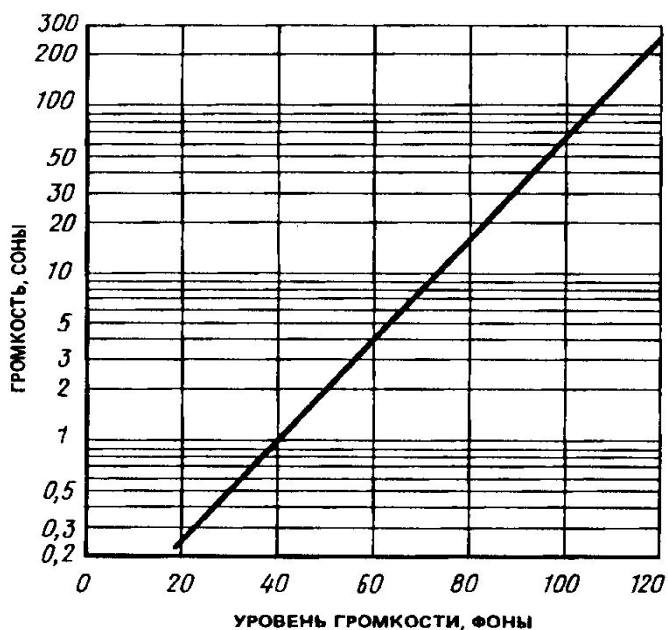
Табл. 2. Відносна частотна характеристика корекції А

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L, \text{дБ}$	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	-1,1

Сприйняття звуку за гучністю.

Шкала гучності – сони

$$S = 2^{(L-40)/10}$$



140	1024
130	512
120	256
110	128
100	64
90	32
80	16
70	8
60	4
50	2
40	1
30	0,5
20	0,25
10	0,125
0	0,0625

Нульовий поріг: $S_0 = 0,0625$ сон.

Больовий поріг: $S_6 = 1024$ фон.

Тобто $S_6 / S_0 = 16384$ (!)